



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 433 222 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 90810902.8

(51) Int. Cl.⁵: B01J 19/32, B01J 35/04

(22) Anmeldetag: 22.11.90

(30) Priorität: 11.12.89 CH 4446/89

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
19.06.91 Patentblatt 91/25

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI NL

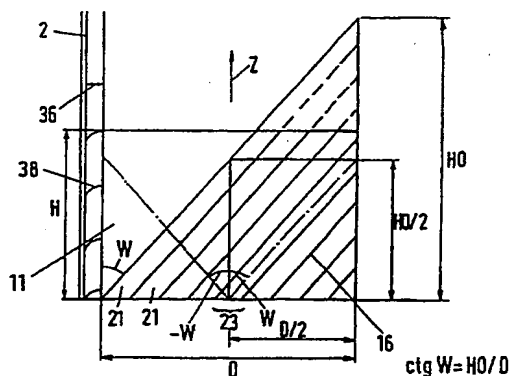
(71) Anmelder: **GEBRÜDER SULZER
AKTIENGESELLSCHAFT**
Zürcherstrasse 9
CH-8401 Winterthur (CH)

(72) Erfinder: **Stringaro, Jean-Paul, Dr.**
Feldstrasse 18
CH-8180 Bülach (CH)

(54) Reaktor für heterogene Reaktionsführung mit Katalysatorkörper.

(57) Der katalytische Reaktor weist einen Katalysatorkörper (7) als Packung auf mit Stufen (11, 12) unterschiedlicher Orientierung und mit Stromleitelementen (16), welche sich kreuzende Teilstromkanäle bilden und welche einen Katalysator enthalten. Die Stromleitelemente weisen einen Neigungswinkel W von mindestens 10° zur Hauptstromrichtung auf und sie bilden teilweise offene Stromkreuzungsstellen (25) zwischen den Teilströmen. Die Höhe H einer Stufe entspricht dabei einem Versetzungsfaktor H/H_0 von mindestens $1/2$, mit $H_0 = D \cdot \text{ctg } W$ und $D =$ Durchmesser des Katalysatorkörpers (7). Dadurch wird sowohl eine gute Homogenisierung der katalytischen Reaktion als auch eine gute Wärmeableitung an die wärmeleitende Reaktorwandung (2) erreicht. Die Selektivität der chemischen Reaktion wird verbessert und ein Schlupf weitgehend verhindert.

Fig. 2



EP 0 433 222 A1

Jouve, 18, rue Saint-Denis, 75001 PARIS

Best Available Copy

REAKTOR FÜR HETEROGENE REAKTIONSFÜHRUNG MIT KATALYSATORKÖRPER

Die Erfindung betrifft einen Reaktor für heterogene Reaktionsführung mit einer Reaktorwandung, mindestens einem Einlauf und einem Auslauf, einer zugeordneten Fördereinrichtung und mit einem Katalysatorkörper als Packung. Derartige katalytische Reaktoren sind bekannt z.B. Ein- oder Mehrrohrreaktoren, wobei als Katalysatorkörper Schüttungen oder Monolithen, meist aus extrudierten Strukturen mit parallelen Kanälen, oder aufgerollte Wellstrukturen, meist aus beschichtetem Blech, Verwendung finden. Diese bekannten Reaktoren weisen aber erhebliche Nachteile auf. So treten bei Schüttungen hohe Druckabfälle und schlechte Wärmeableitung auf. Monolithen und gewinkelte Wellstrukturen weisen keine radiale Vermischung auf, die Wärmeabfuhr ist schlecht und es treten Schlupf, inhomogene Konzentrations- und Temperaturprofile auf. In der CH-PS 537 208 wurde auch schon die Möglichkeit erwähnt, eine statische Mischerstruktur mit katalytisch aktiven Material zu versehen. Dies ist jedoch insbesondere für katalytische Reaktionen mit signifikanter Wärmetönung auch nicht geeignet, da die notwendige Wärmeableitung nicht erreicht und auch der erforderliche Temperaturbereich für eine gegebene katalytische Reaktion nicht eingehalten werden kann. Bei den bekannten Reaktoren tritt auch die Gefahr hoher Spitzentemperaturen und von lokalen "hot spots" auf.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Reaktor zu schaffen, welcher diese Nachteile weitgehend überwindet und insbesondere geringen Druckabfall, gute radiale Vermischung, dadurch homogene Konzentrations- und Temperaturprofile, gute Wärmeabfuhr und reduzierte Spitzentemperaturen aufweist und welcher katalytische Reaktionen mit hoher Effizienz und guter Selektivität ermöglicht. Auch soll ein scale-up von Laboreinheiten auf grössere Produktionseinheiten einfacher möglich sein.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss gelöst durch einen Reaktor mit den Merkmalen von Anspruch 1. Durch die von den Stromleitelementen gebildeten Teilstromkanäle mit Neigungswinkel W zur Hauptstromrichtung wird über die Höhe einer Stufe des Katalysatorkörpers eine rasche Ableitung der katalytischen Wärmetönung an die wärmeleitende Reaktorwandung erreicht. Dazu ist die Höhe einer Stufe so gross gewählt, dass deren Versetzungsfaktor H/H_0 mindestens $1/2$ beträgt. Dadurch führt jeder Teilstromkanal einer Stufe bis an die Reaktorwandung. Gleichzeitig wird durch die abwechselnde Anordnung der Teilstromkanäle bzw. der Stromleitelemente in zwei verschiedenen Richtungen mit dazwischenliegenden teilweise offenen Stromkreuzungsstellen bei geringem Druckabfall eine gute radiale Vermischung und damit homogene Konzentrations- und Temperaturprofile erreicht. Die abhängigen Ansprüche beziehen sich auf besonders vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterentwicklungen der Erfindung. Eine direkt an der Reaktorwandung angebrachte Kühl- oder Heizvorrichtung sowie eine Steuerungseinheit, welche mit dieser Kühl- oder Heizvorrichtung und mit der Fördereinrichtung verbunden ist, können eine optimale Einstellung und den Betrieb unter optimalen Bedingungen einer gewünschten katalytischen Reaktion ermöglichen. Durch die Ausbildung der Stromkreuzungsstellen, so dass deren offene Flächen kleiner sind als die Querschnittsflächen der Teilstromkanäle bzw. weniger als die Hälfte der Fläche der Lagenebenen beträgt, kann gleichzeitig eine gute Vermischung und Homogenisierung im ganzen Reaktorraum und eine hohe Wärmeabfuhr an die Reaktorwände weiter optimiert werden. Geeignete Stromleitelemente und Teilkanäle können gebildet werden aus wellenförmigen Schichten und mit abgerundeten, dreieckförmigen, rechteckförmigen, quadratischen oder trapezförmigen Querschnittsformen der Teilkanäle. Wenn sich die Stromleitelemente in den Lagenebenen über einem bestimmten Teilstück berühren, kann auch erhöhte Wärmeableitung an die Wand erreicht werden. Günstige Ausführungen der Stromleitelemente können aus einem wärmeleitenden Metallskelett mit zusätzlich verbesserter Wärmeableitung und Beschichtungen aus Erdalkali- oder Uebergangsmetalloxyden, im speziellen mit Aluminiumoxyd, bestehen. Sie können auch Schichten aus Vollkeramikmaterial und einfach herzustellende Washcoat-Beschichtungen aufweisen. Gute Reaktionsverhältnisse können mit spezifischen Oberflächen von 20 bis 200 m^2/g (BET-Oberfläche des Katalysatorträgermaterials oder des Katalysators) und Oberflächenvergrösserungen von 100 bis 100 000 m^2/m^2 (BET-Fläche/geometrische Substratfläche) erreicht werden. Durch Aufteilung des Reaktorkörpers in mindestens zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Parameterwerten kann eine weitere Optimierung des Reaktionsverlaufs über die Reaktorlänge erreicht werden. Der Katalysatorkörper samt umgebender Wandung kann aber auch aus mehreren gleichartigen Modulen zusammengesetzt sein, was besonders günstige Transport- und Montage-Bedingungen ergibt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Beispielen und Figuren näher erläutert. Es zeigt :
 Fig. 1 einen erfindungsgemässen Reaktor mit zwei Stufen des Katalysatorkörpers ;
 Fig. 2 schematisch den Versetzungsfaktor H/H_0 einer Stufe ;
 Fig. 3a, b eine räumliche Anordnung von Stromleitelementen und Teilstromkanälen im Reaktorraum und bezüglich der Hauptströmungsrichtung Z ;
 Fig. 4 verschiedene mögliche Querschnittsformen der Teilstromkanäle ;
 Fig. 5 die Flächenverhältnisse in den Lagenebenen der Beispiele von Fig. 4 ;

Fig. 6 die Wirkungsweise bezüglich Homogenisierung und Wärmeableitung resultierend aus den Flächenverhältnissen ;

Fig. 7 Temperatur- und Konzentrationsverläufe im Vergleich mit bisherigen Reaktoren ;

Fig. 8 ein Beispiel mit zwei Abschnitten des Katalysatorkörpers ;

Fig. 9 ein Beispiel in Modulbauweise ;

Fig. 10 den Aufbau von Stromleitelementen mit Katalysator.

Der erfindungsgemässe Reaktor 1 für flüssige oder gasförmige Medien von Fig. 1 weist eine Reaktorwandung 2, einen Einlauf 3, einen Auslauf 4, eine zugeordnete Fördereinrichtung 6, z.B. als Pumpe oder Gebläse, und einen Katalysatorkörper 7 als Packung auf. Dieser Katalysatorkörper besteht hier aus zwei Stufen 11, 12, welche je aus in parallelen Lagen 41, 42 angeordneten und Teilstromkanäle 21, 22 bildenden Stromleitelementen 16 bestehen. Deren räumliche Anordnung bezüglich der Hauptströmungsrichtung Z und der Raumachsen X, Y, Z verdeutlicht Fig. 3. Nach Fig. 3a liegen die Strömungskanäle 21 der Lagen 41 parallel zur Ebene (Z, X) und die Strömungskanäle 22 der Lagen 42 parallel zur Ebene (Z, Y). Alle Stromleitelemente bzw. die gebildeten Teilstromkanäle 21, 22 sind in einem Neigungswinkel W von mindestens 10°, vorzugsweise von 35° bis 65° zur Strömungsrichtung Z angeordnet. Dabei sind die Lagen abwechselnd in Richtung +W und -W ausgerichtet, so dass sich kreuzende Teilströme 21a, 21b in der Ebene (Z, X) gebildet werden. In der Ebene (Z, Y) sind die Strömungsrichtungen 22a, 22b ebenfalls im Winkel W zur Z-Achse ausgerichtet. Durch diese Anordnung werden teilweise offene Stromkreuzungsstellen 25 zwischen den Teilstromkanälen gebildet (Fig. 4, 5), an welchen eine dosierbare, partielle Vermischung stattfindet. Der Katalysator ist mindestens an der Oberfläche der Stromleitelemente 16 angebracht, in Fig. 3b auf den wellenförmigen Schichten 17.

Die durch den Versetzungsfaktor H/H_0 bestimmte Höhe H einer Stufe 11 des Katalysatorkörpers wird nach Fig. 2 erläutert. Die Höhe H_0 , über welcher ein Teilstromkanal den ganzen Reaktorkörper mit Durchmesser bzw. Dicke D durchquert, ist gegeben durch $H_0 = D \cdot \cotg W$. Damit für den ganzen Strömungsquerschnitt eingangs einer Stufe 11 immer alle Teilstromkanäle ganz bis an die wärmeleitende Reaktorwandung 2 führen, muss dies auch für den von der Mitte ausgehenden Kanal 23 gelten. Die minimale Stufenhöhe H muss dann sein : $H = 1/2 H_0$, somit also der Versetzungsfaktor H/H_0 mindestens = 1/2 sein.

Der Reaktor von Fig. 1 weist auch eine an der Reaktorwand 2 angebrachte bzw. auf diese einwirkende Kühl- oder Heizvorrichtung 15 auf, sowie eine mit der Vorrichtung 15 und der Fördereinrichtung 6 verbundene Steuerungseinheit 30. Die Heiz-/Kühlvorrichtung 15 kann z.B. eine Luft- oder Wasserkühlung oder auch eine elektrische Heizung für endotherme Reaktionen aufweisen. Hier ist am Reaktor ein Kühlmantel 43 und damit verbunden ein Wärmetauscher 44 vorgesehen, wobei mit der Steuerungseinheit 30 die Kühlleistung über den Wärmetauscher 44 eingestellt und gesteuert wird. Sensoren 33 für Temperaturen, pH-Werte oder Konzentrationen erfassen an verschiedenen Stellen des Reaktorraums relevante Reaktionsparameter. Mit einem Programmteil 31 und einer Dateneingabe 32 der Steuerungseinheit können somit Reaktionsabläufe nach Wunsch programmiert, optimiert, überwacht und automatisiert werden.

Durch die Ausgestaltung der Querschnittsformen der Teilkanäle, der offenen Flächen der Stromkreuzungsstellen 25, des Neigungswinkels W und der Stufenhöhe H kann, abgestimmt auf Strömungsgeschwindigkeit, Medium und Wärmetönung der Reaktion, sowohl eine gute Quervermischung mit homogenen Konzentrationsverläufen als auch eine rasche Wärmeableitung über die Reaktorwandung und damit eine optimale Reaktionsführung erreicht werden.

Die Figuren 4a bis 4f zeigen schematisch verschiedene Beispiele möglicher geeigneter Querschnittsformen mit Flächen F2 der durch die Stromleitelemente gebildeten Teilkanäle. Dies sind in Fig. 4a rechteckförmige (27), in Fig. 4b quadratische (28), in Fig. 4c bis 4e trapezförmige (24, 29) und in Fig. 4f gerundet dreieckförmige (26) Querschnitte. Fig. 3b gibt ein weiteres Beispiel mit gerundeter Querschnittsform. Wie gezeigt, berühren sich die Stromleitelemente in den Lagenebenen über einem bestimmten Teilstück B, wodurch die offene Fläche F1 der Stromkreuzungsstellen 25 entsprechend verkleinert wird.

In den Figuren 5a, b, c, g sind den Beispielen von Fig. 4a, b, c, g entsprechend die offenen Flächen F1 und die geschlossenen Flächenanteile in den Lagenebenen F3 gezeigt. In den Lagenebenen berühren sich je zwei Lagen von Stromleitelementen bzw. sie sind hier verbunden. Die den Stromkreuzungsstellen 25 entsprechenden offenen Flächen F1 sind schraffiert dargestellt. Wie ersichtlich, kann je nach Formgebung der Stromleitelemente ein gewünschtes Verhältnis von offenen Flächen F1 zu gesamter Lagenfläche F3 erzielt werden. Ebenso kann auch ein geeignetes Verhältnis von offenen Flächen F1 zu Querschnittsflächen F2 der Teilstromkanäle eingestellt werden. Mit $W = 45^\circ$ und ohne Berücksichtigung der endlichen Schichtdicke der Stromleitelemente ergeben sich beispielsweise für die Verhältnisse $F1/F2$ und $F1/F3$ folgende Werte :

	Fig. 4a	$F1/F2 = 2/3$	$F1/F3 = 1/4$
	Fig. 4b	" = 1	" = $1/4$
5	Fig. 4c	" = $3/2$	" = $9/16$
	Fig. 4d	" = 1	" = $1/4$
	Fig. 4e	" = $4/9$	" = $1/9$

10 Mit vergrössertem B1 erreicht die Form von 4d gleiche Werte wie die quadratische von 4b.

Eine Reduktion bzw. Optimierung der Flächenverhältnisse $F1/F2$ und $F1/F3$ kann aber auch erreicht werden durch Einfügen von Zwischenschichten 40 in den Lagenebenen zwischen den Lagen 41, 42, wobei die Zwischenschichten den Flächen $F1$ entsprechende Durchtrittsöffnungen 45 aufweisen. Die Zwischenschichten können z.B. aus gestanzten Blechen einfach hergestellt und mit den Lagen 41, 42 zu Stufen des Katalysatorkörpers zusammengestellt werden. Dabei müssen die Durchtrittsöffnungen der Zwischenschichten nicht notwendigerweise genau auf die Lage der Kanäle ausgerichtet sein und sie können auch eine andere oder gar keine Periodizität aufweisen. Die Figuren 4 g und 5 g zeigen eine derartige Anordnung mit dreieckförmigem Querschnitt und rund gelochten Zwischenschichten 40.

Mit diesen Flächenverhältnissen $F1/F2$ und $F1/F3$ wird der Vermischungsanteil zwischen Kanälen benachbarter Lagen eingestellt.

Vorteilhaft ist oft : $F1/F2 \leq 1$, mindestens aber $\leq 1,5$
und $F1/F3 \leq 1/2$, mindestens aber $\leq 0,7$.

Wie in Fig. 6 schematisch dargestellt, ergibt dies an jeder Stromkreuzungsstelle eine in einem Teilstromkanal verbleibende Längskomponente des Mediumstroms als Hauptkomponente 51 und eine in benachbarte Querkäule übergehende Querkomponente 52. Die Flächenverhältnisse werden in Bezug auf den Versetzungsfaktor $H/H0$ so eingestellt, dass sowohl eine hinreichende Quervermischung und Konzentrations-Homogenisierung als gleichzeitig auch eine gute Wärmeableitung an die Reaktorwand durch die Hauptkomponente. Günstige Verhältnisse können erreicht werden, wenn die Summe der Querkomponenten 52 in der gleichen Grössenordnung liegt wie die Hauptkomponente 51. Im Gegensatz zu bekannten statischen Mischerstrukturen wird beim erfindungsgemässen Reaktor also nicht eine maximale Vermischungswirkung in Querrichtung erzeugt, sondern ganz im Gegenteil eine signifikant eingeschränkte Quervermischung zur Optimierung der Hauptkomponente eingestellt. Querkomponenten und Hauptkomponenten ergeben somit zusammen einen Verlauf der strömenden Teilchen im Reaktorraum im wesentlichen gemäss Richtung der Resultierenden 53 ; d.h. alle Teilchen können im Prinzip an die Reaktorwandung 2 geführt werden. Speziell für hohe Wärmetönungen kann dazu der Versetzungsfaktor $H/H0$ mindestens gleich 0.7 gewählt werden. Je nach katalytischer Reaktion kann aber auch schon 0.5 genügen.

Der Randspalt 36 liegt vorzugsweise in der gleichen Grössenordnung wie der hydraulische Durchmesser der Teilstromkanäle. Kragenartige Abschlüsse 38 im Randspalt 36 leiten nach Wärmeaustausch an der Wand 2 das Reaktionsgemisch wieder in die Kanäle zurück. Dazu sind über jeder Stufe des Reaktorkörpers mindestens einer, vorzugsweise jedoch mehrere Kragen 38 angeordnet.

Die Figuren 7a und b zeigen an einem Beispiel schematisch den Verlauf der Temperaturen T bzw. der katalytisch abzubauenen Konzentration C über die Reaktorlänge L in Hauptströmungsrichtung Z. Mit bisherigen Reaktoren wird ein Temperaturverlauf T1 mit raschem Anstieg auf hohe Temperaturen bis zur zulässigen maximalen Temperatur TM und anschliessendem relativ raschem Abfallen erreicht. Mit dem erfindungsgemässen Reaktor dagegen steigt die Temperatur T2 bei gleicher Reaktionsintensität infolge effizienter Wärmeableitung nur bis zum gewünschten optimalen Wert TO und fällt anschliessend dank guter Homogenisierungswirkung auch weniger rasch ab, bleibt also wesentlich länger im optimalen Bereich DTO. Ueberdies sind lokale Temperaturspitzen und Inhomogenitäten DT2 klein infolge gezielter Misch- und Homogenisierungswirkung. Bei bisherigen Reaktoren jedoch treten grosse lokale Temperaturspitzen und Inhomogenitäten DT1 auf, welche die zulässige maximale Temperatur TM überschreiten und dadurch zu unerwünschten chemischen Reaktionen und zu Katalysator-Zerstörung führen können. Im Konzentrationsverlauf C(Z) in Fig. 7b zeigen bisherige Reaktoren mit C1 eine raschere Abflachung der Reaktion mit einem als Schlupf verbleibenden unerwünschten Restwert C3 am Ende L des Katalysatorkörpers. Die Konzentration C2 des erfindungsgemässen Reaktors nimmt dagegen zügig und kontinuierlich bis zum Wert 0 ab, ohne dass am Ende L des Katalysatorkörpers ein Schlupf auftritt.

Eine weitere Verbesserung des erfindungsgemässen Reaktors für besonders hohe Effizienz und Selektivität kann durch Aufteilen des Reaktorkörpers in mindestens zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Parametern bezüglich Geometrie der Stromleitelemente und Katalysatorbelegung erreicht werden. Dazu zeigt

Fig. 8a den Temperaturverlauf T3 und T4 in den beiden Abschnitten 46, 47 des Katalysatorkörpers 7, mit den Stufen 11, 13, 14, von Fig. 8b. Die Parameterwerte sind so eingestellt, dass in der ersten Stufe 46 eine höhere Wärmeableitung und entsprechend ein tieferer Verlauf von T3 erreicht wird. In der zweiten Stufe wird dagegen eine höhere Reaktivität mit entsprechendem Wiederanstieg der Temperatur T4 eingestellt. Damit kann der Temperaturverlauf T3, T4 insgesamt weitgehend nahe der optimalen Temperatur TO bzw. im optimalen Temperaturbereich DTO gehalten und über die Reaktorlänge L somit eine höhere Nutzung des Katalysators und eine bessere Selektivität zugunsten der gewünschten chemischen Reaktion erreicht werden.

Als Beispiel kann somit im Falle von selektiven Oxydationen der Anteil des gewünschten partiell oxidierten Produktes erhöht und der der vollständig oxidierten Produkte (z.B. CO₂, H₂O) gesenkt werden.

Eine höhere Wärmeableitung wird in der ersten Stufe 46 erreicht durch kleinere Neigungswinkel W, grössere Versetzungsfaktoren H/H₀, grössere Kanäle und Querschnittsflächen F₂, durch kleinere offene Kreuzungsstellenflächen F₁, kleinere Katalysatoroberflächen und -belegungen. Umgekehrt werden entsprechend höhere Reaktivitäten bzw. kleinere Wärmeableitungen in der zweiten Stufe 47 eingestellt.

Zum Transport und zur Montage von grösseren Reaktoreinheiten ist es besonders vorteilhaft, den Reaktor gemäss Fig. 9 aus mehreren gleichartigen Modulen 37 zusammenzusetzen. Jeder Modul besteht dabei aus einem Teil des Katalysatorkörpers 7 sowie zugehöriger umgebender Wandung 2. Vorzugsweise beträgt dabei die Höhe H₃ eines Moduls nicht mehr als 2.4 m, was einen einfachen Strassentransport zulässt. Der Randspalt 36 ist mindestens am oberen oder unteren Ende jedes Moduls 37 durch einen federmenden Kragen 38 verschlossen.

Die Querschnittsform des Reaktors kann rund sein wie Fig. 3a, es können sich aber auch quadratische oder polygonförmige Querschnitte eignen.

Die Teilstromkanäle bildenden Stromleitelemente 16 können als ganzes aus katalytisch wirkendem Material bestehen, sie können mit Katalysatomaterial beschichtet oder an der Oberfläche katalytisch aktiviert sein.

Fig. 10a zeigt ein Stromleitelement 16 mit einem Metallskelett 18 z.B. einem rostfreien Stahlblech und einer Katalysator-Beschichtung 19, wobei der Katalysator mindestens an der Oberfläche angebracht ist. Der Metallträger 18 trägt hier zusätzlich zur Wärmeableitung und zum lokalen Temperatursausgleich bei.

Fig. 10b zeigt ein Stromleitelement, welches aus einer Vollkeramikschiicht 20 z.B. aus Kordierit, Mullit, Stenatit, Siliziumoxyd und speziell Aluminiumoxyd besteht. Besonders günstige Beschichtungen mit optimierten Oberflächenvergrösserungen auf Metallträgern wie auf Vollkeramikschiichten können im Washcoat-Verfahren erzeugt werden.

Ansprüche

1. Reaktor für heterogene Reaktionsführung mit einer Reaktorwandung (2), mindestens einem Einlauf (3) und einem Auslauf (4), einer zugeordneten Fördereinrichtung (6) und mit einem Katalysatorkörper (7) als Packung, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktorwandung (2) wärmeleitend ausgebildet ist und dass der Katalysatorkörper (7) mindestens zwei aufeinanderfolgende Stufen (11, 12) unterschiedlicher Orientierung in zwei verschiedenen Raumebenen (Z, X) und (Z, Y) aufweist, wobei jede Stufe Stromleitelemente (16) aufweist, welche Teilstromkanäle (21, 22) bilden, welche einen Katalysator enthalten und welche abwechselnd in zwei verschiedenen Richtungen jeweils in einem Neigungswinkel W von mindestens 10° zur Hauptstromrichtung (Z) ausgerichtet sind für je zwei Teilströme (21a, 21b) unterschiedlicher Strömungsrichtung mit teilweise offenen Stromkreuzungsstellen (25) zwischen diesen Teilströmen (21a, 21b) und mit einem Versetzungsfaktor H/H₀ von mindestens 1/2, wobei H der Höhe einer Stufe (11, 12) entspricht und H₀ = D·ctg W ist mit D = Durchmesser bzw. Breite des Katalysatorkörpers (7).
2. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass an der Reaktorwandung (2) eine Kühl- oder Heizvorrichtung (15) vorgesehen ist.
3. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Neigungswinkel W zwischen 35° und 65° liegt.
4. Reaktor nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine Steuerungseinheit (30), welche verbunden ist mit der Kühl- oder Heizvorrichtung (15) sowie mit der Fördereinrichtung (6).
5. Reaktor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerungseinheit einen Programmteil (31) mit Dateneingabe (32) und Messeingängen von Sensoren (33), welche im Reaktorraum angebracht sind, aufweist.

6. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die offene Fläche (F1) der Stromkreuzungsstellen (25) kleiner ist als die Querschnittsfläche (F2) der Teilstromkanäle (21, 22).
- 5 7. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Summe der offenen Flächen (F1) der Stromkreuzungsstellen einer Lagenebene weniger als die Hälfte der Fläche (F3) dieser Lagenebene beträgt.
8. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromleitelemente aus wellenförmigen Schichten (17) bestehen, welche in parallelen Lagen (41, 42) angeordnet sind.
- 10 9. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Querschnittsformen der Teilkanäle gerundet, dreieckförmig (26), rechteckförmig (27), quadratisch (28) oder trapezförmig (29) ausgebildet sind.
10. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Stromleitelemente (16) in den Lagenebenen in einem Teilstück (B) berühren bzw. hier verbunden sind.
- 15 11. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Katalysatorkörper und der Reaktorwandung ein Randspalt (36) vorgesehen ist, welcher im wesentlichen dem hydraulischen Durchmesser der Teilstromkanäle entspricht.
- 20 12. Reaktor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Randspalt (36) mindestens einmal pro Stufe und in regelmässigen Abständen durch einen Kragen (38) abgedichtet ist.
13. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromleitelemente ein Metallskelett (18), vorzugsweise aus rostfreiem Stahl, mit einer Katalysatorbeschichtung (19) aufweisen.
- 25 14. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromleitelemente eine Beschichtung aus Erdalkali-und/oder Uebergangsmetalloxyden aufweisen.
15. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromleitelemente eine Beschichtung aus Aluminiumoxyd Al₂O₃ aufweisen.
- 30 16. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromleitelemente als Schicht (20) aus Vollkeramik wie z.B. Kordierit, Mullit, Steatit, Aluminiumoxyd oder Siliziumoxyd gebildet werden.
- 35 17. Reaktor nach Anspruch 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromleitelemente eine Washcoat-Beschichtung mit einem Katalysator aufweisen.
18. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die katalysatortragende Zone der Stromleitelemente eine spezifische Oberfläche von 20 bis 200 m²/g aufweisen.
- 40 19. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stromleitelemente eine Oberflächenvergrößerung von 100 bis 100 000 m²/m² bezogen auf deren geometrische Fläche aufweisen.
- 45 20. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktorkörper mindestens zwei Abschnitte (46, 47) mit unterschiedlichen Parameterwerten bezüglich der Geometrie der Leitelemente und/oder der Katalysatorbelegung aufweist.
21. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Katalysatorkörper (7) mit der umgebenden Wandung (2) aus mehreren gleichartigen Modulen (37) zusammengesetzt ist.
- 50 22. Katalysatorkörper für Reaktor nach Anspruch 1 bis 21.

Bezeichnungsliste

- | | | |
|----|---|----------------|
| 55 | 1 | Reaktor |
| | 2 | Reaktorwandung |
| | 3 | Einlauf |
| | 4 | Auslauf |

	6	Fördereinrichtung
	7	Katalysatorkörper (Packung)
5	11	Stufe von 7 (Z, X)
	12	Stufe von 7 (Z, Y)
	13, 14	Stufen von 7
	15	Kühl- oder Heizvorrichtung
	16	Stromleitelemente
10	17	wellenförmige Schichten
	18	Metallskelett
	19	Katalysatorbeschichtung
	20	Vollkeramikschiicht
	21	Teilstromkanäle in (Z, X)
15	21a, b	Strömungsrichtungen von 21
	22	Teilstromkanäle in (Z, Y)
	22a, b	Strömungsrichtungen von 22
	23	Teilstromkanal, mitte
20	25	Stromkreuzungsstelle
		Querschnittsformen von 21, 22
	26	dreieckförmig
25	27	rechteckförmig
	28	quadratisch
	24, 29	trapezförmig
30	30	Steuerungseinheit
	31	Programmteil
	32	Dateneingabe
	33	Sensoren
	36	Randspalt
35	37	Module
	38	Kragen, federnd
	40	Zwischenschichten
40	41, 42	Lagen
	43	Kühlmantel
	44	Wärmetauscher
	45	Durchtrittsöffnungen von 40
	46, 47	Abschnitte
45		
	51	Haupt-, Längskomponente
	52	Querkomponente
	53	Resultierende
50		
	B	Teilstück in Lagenebene
	(Z,X)	Lagenebenen
	(Z,Y)	
55		
	Z	Hauptströmungsrichtung
	W	Neigungswinkel von 21, 22
	D	Durchmesser von 7

EP 0 433 222 A1

	H	Höhe einer Stufe
	H0 = D-ctg W	
	H/H0	Versetzungsfaktor
5	H3	Höhe Modul 37
	F1	offene Fläche von 25
	F2	Querschnittsfläche von 21, 22
	F3	Fläche einer Lagenebene
	T	Temperatur
10	C	Konzentration
	L	Länge Katalysatorkörper
	T1 alt	
	T2 neu	
15	T3, T4	T in 46, 47
	TM	T maximal
	TO	T optimal
	DT0	optimaler Bereich
20	DT1	Temperaturspitzen alt
	DT2	Temperaturspitzen neu
	C1 alt	
	C2 neu	
25	C3	Schlupf
30		
35		
40		
45		
50		
55		

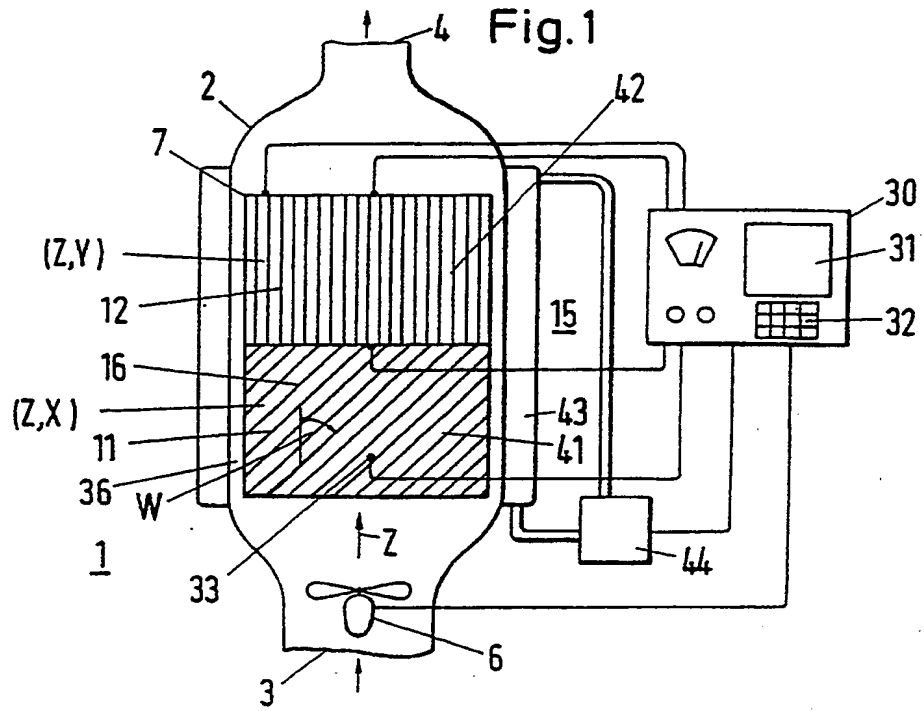


Fig. 3a

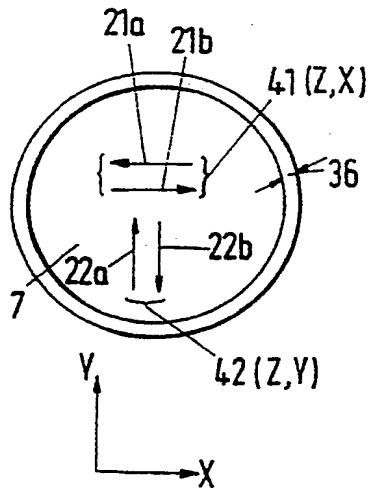


Fig.3b

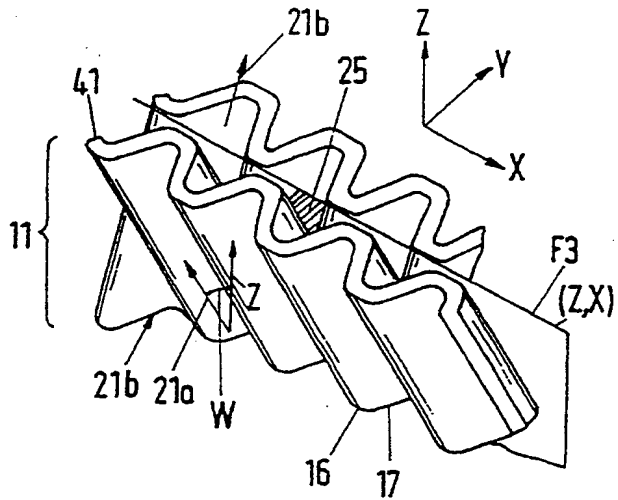


Fig. 2

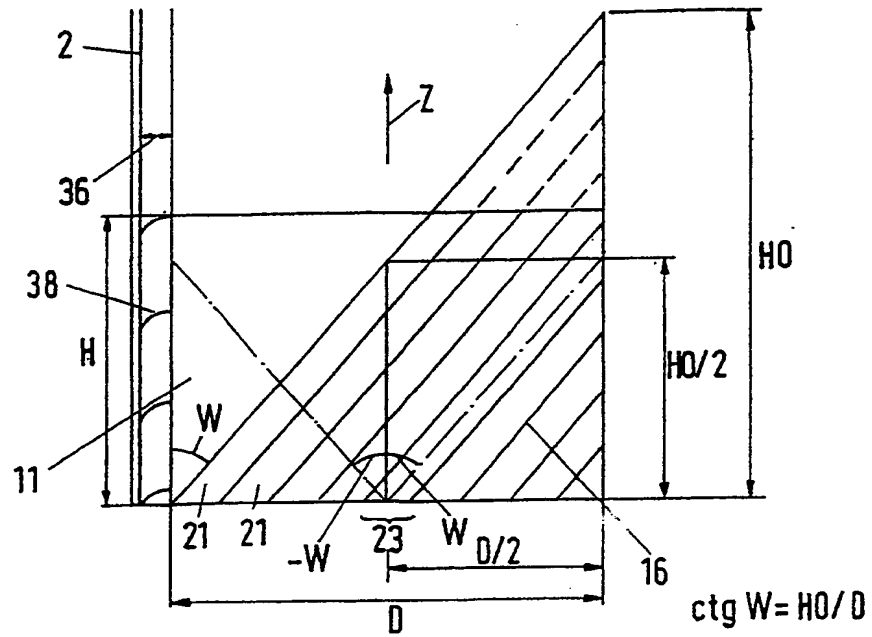


Fig. 4f

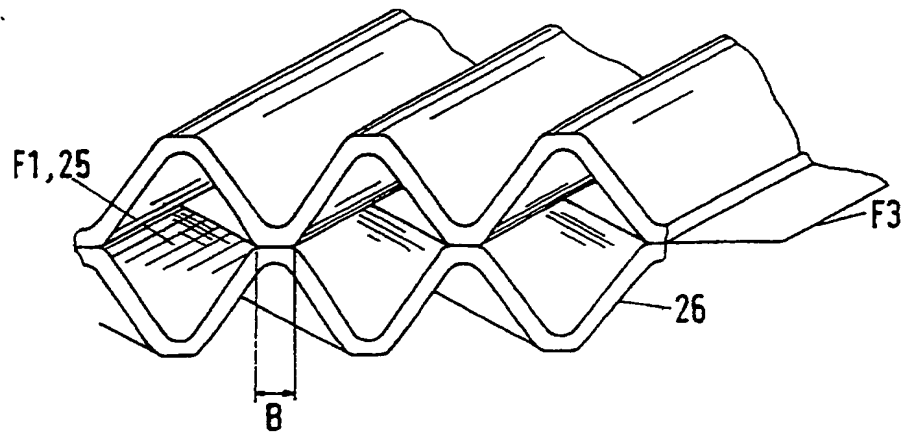


Fig.4a

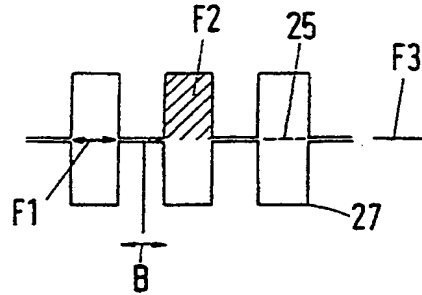


Fig.4b

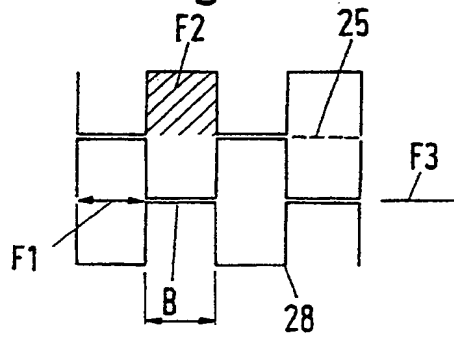


Fig.4c

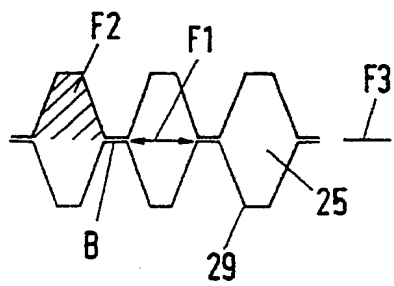


Fig.5a

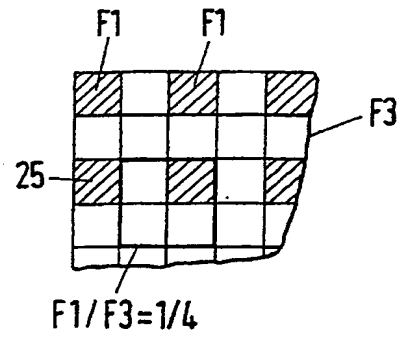


Fig.5b

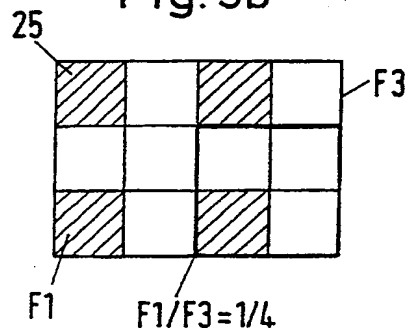


Fig.5c

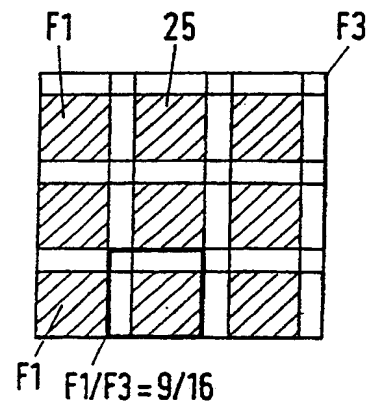


Fig. 4d

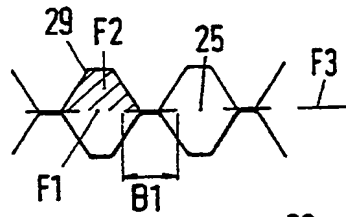


Fig. 4e

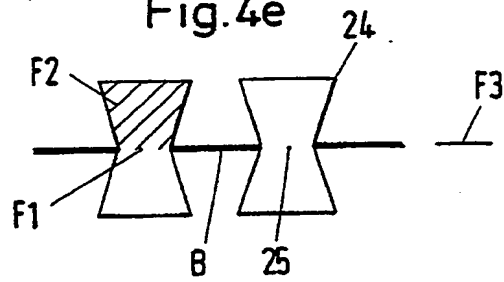


Fig. 4g

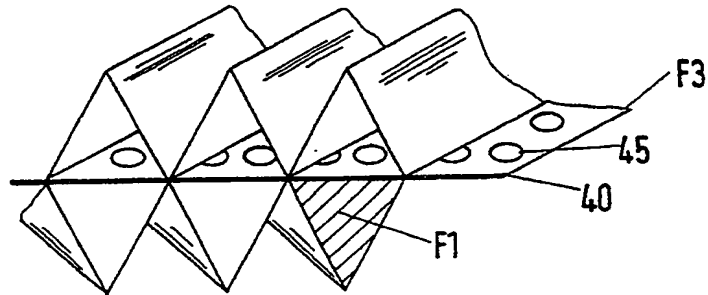


Fig. 5g

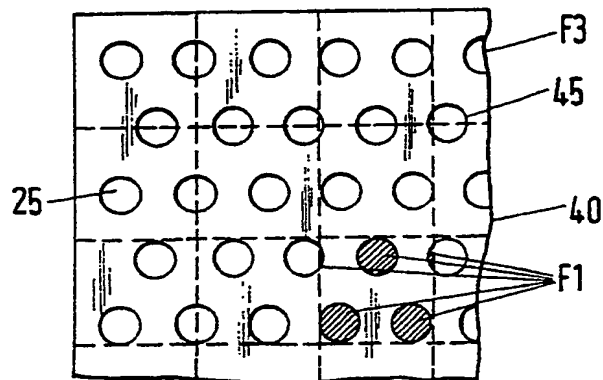
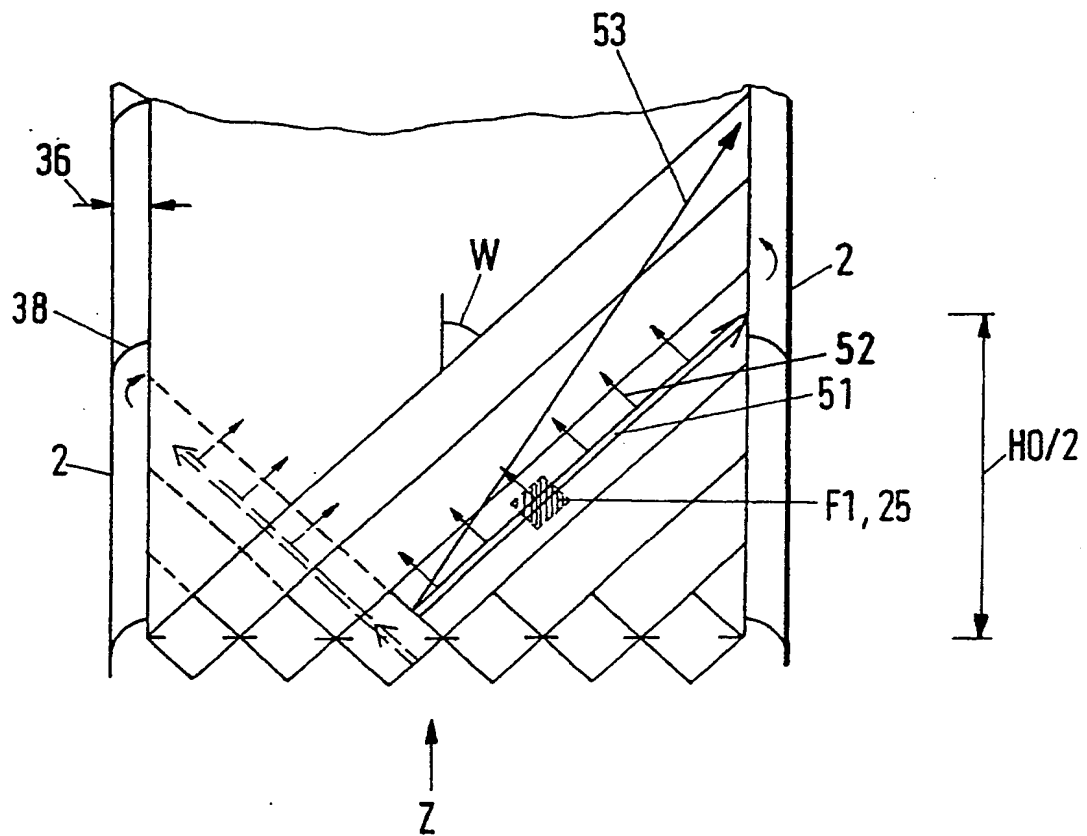


Fig. 6



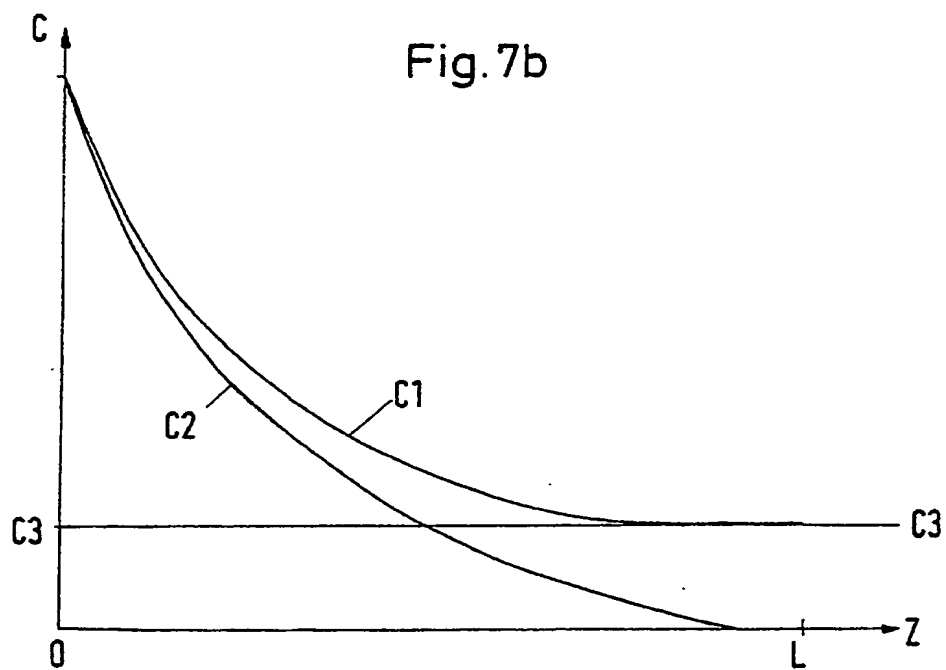
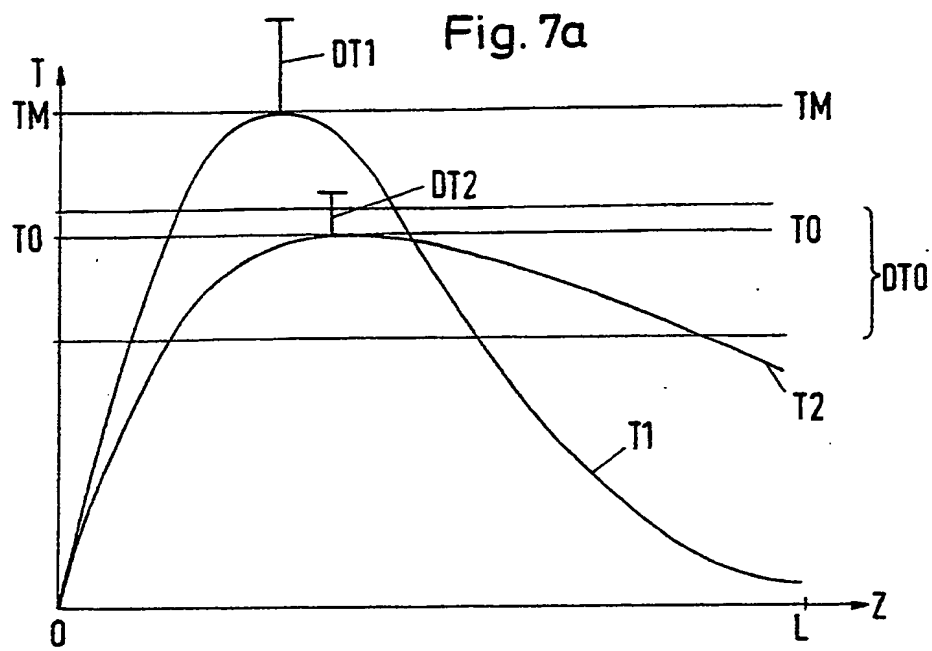


Fig. 8a

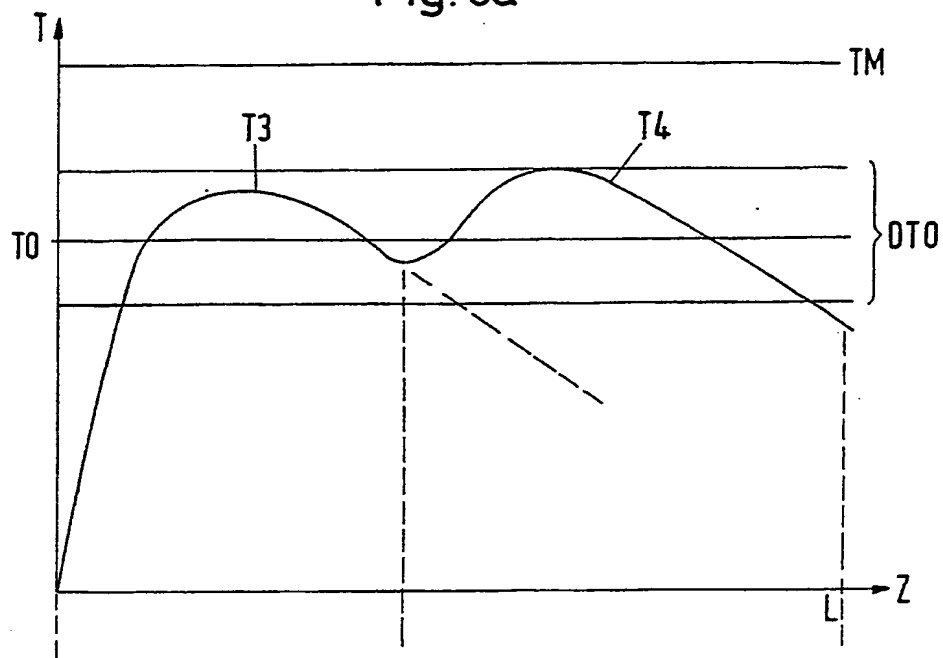


Fig. 8b

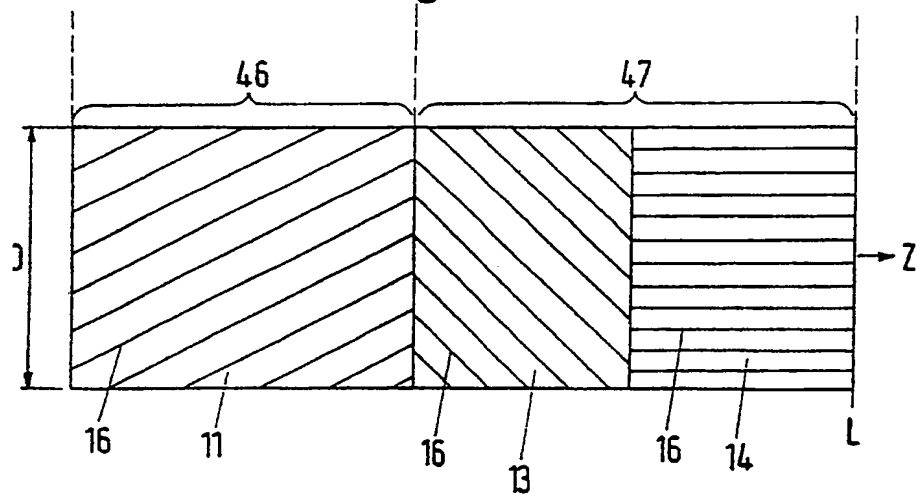


Fig. 9

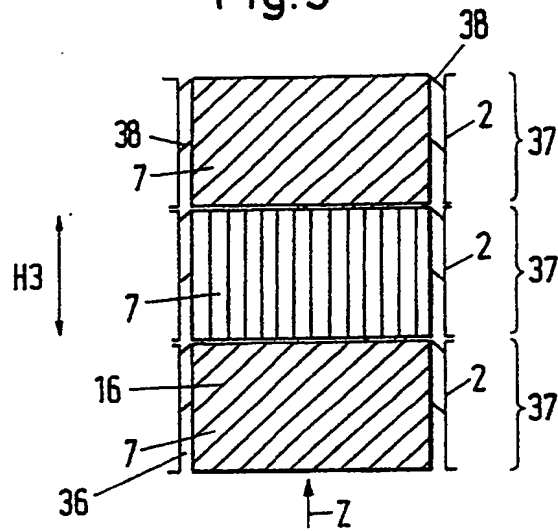


Fig. 10a

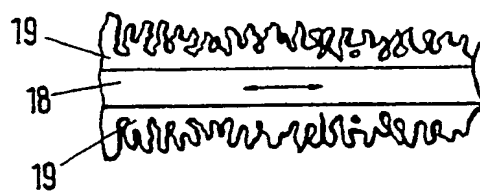
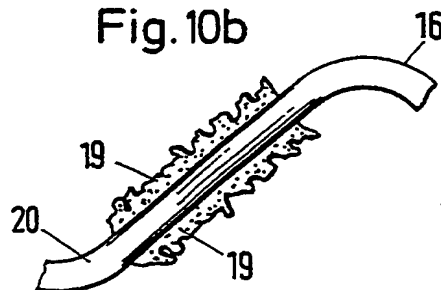


Fig. 10b





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 90 81 0902

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. CL.5)
A	EP-A-0 025 308 (ICI) * Zusammenfassung; Seite 14, Zeile 21 - Seite 15, Zeile 12; Seite 17, Zeile 27 - Seite 18, Zeile 19; Ansprüche 1-4; Abbildungen 1,3 *	1,3,6,8 ,9	B 01 J 19/32 B 01 J 35/04
A	DE-U-8 700 639 (SULZER) * Ansprüche 1,8,9; Abbildungen 2,7 *	1,12,20	
A	DE-A-3 826 155 (MAZDA MOTOR) * Zusammenfassung; Anspruch 1 *	13-16	
A	EP-A-0 208 929 (BASF) * Komplettes Dokument *	1,13-16	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. CL.5)
			B 01 J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 08-03-1991	Prüfer MARZENKE J.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 150 (01/91) (P.040)



This Page Blank (uspto)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☒ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspic,